Arbeiten des pflanzenphysiologischen Institutes der k. k. Wiener Universität.

IV. Untersuchungen über die Bewegung des Imbibitionswassers im Holze und in der Membran der Pflanzenzelle.[1]

Von **Julius Wiesner.**

(Vorgelegt in der Sitzung am 15. Juli 1875.)

Es ist hinlänglich erwiesen, dass zur Zeit des stärksten Wasserverbrauches eines Holzgewächses, also im Hochsommer, tropfbares Wasser in den Hohlräumen der Zellen und Gefässe des Holzes nicht oder doch nur in unerheblicher Menge enthalten ist. Die grossen Wasserquantitäten, welche zu dieser Zeit die Transspirationsverluste zu decken haben, können demnach weder im gewöhnlichen Sinne capillar durch die Hohlräume der Holzzellen und Gefässe, noch durch Membrandiffussion aufwärts geleitet werden.

Nach Sachs[2] sind wir nicht gezwungen, die Fortleitung des Wassers in der Substanz der Zellmembranen anzunehmen: es ist, nach der Auffassung des genannten Forschers, noch eine zweite Möglichkeit vorhanden. Es könnte nämlich das Wasser in den uns frei von tropfbarem Wasser erscheinenden Holzzellen und Gefässen in der Weise aufsteigen, „dass eine sehr dünne Wasserschichte, welche die Innenwände der Holzzellen und Gefässe überzieht, die Bewegung vermittelt". Sachs stützt sich bei Aufstellung dieser Möglichkeit auf Quincke's Entdeckungen über Capillarität.

Ich werde in vorliegender Abhandlung einige Versuche mittheilen, welche lehren, dass wir keinen Grund haben von der älteren Ansicht, derzufolge das durch den Holzkörper geleitete

---

[1] Eine vorläufige Mittheilung hierüber veröffentlichte ich in der botan. Zeit. 1875, Nr. 21 und 22.

[2] Lehrbuch, 3. Aufl., pag. 591.

Wasser die Zellwände imbibirt und durch die Imbibitionskraft gehoben wird, abzugehen, einer Ansicht, welche schon durch die bekannten Experimente Jamin's[1] im hohen Grade wahrscheinlich wurde, die aber, soviel mir bekannt, zuerst mit genauer Rücksichtnahme auf den Bau der Pflanze und gestützt auf sorgfältige Versuche von Unger[2] begründet wurde, wenn auch schon früher die Bewegung des Wassers im Holze, als in der Substanz der Zellwände stattfindend, hingestellt wurde[3].

Dass die Bewegung des Imbibitionswassers im Holze von der Transspiration abhängig ist, wird wohl Niemand mehr bezweifeln. Dennoch ist das Wesen der Imbibition physikalisch noch nicht genügend festgestellt. Es sei gleich hier bemerkt, dass ich in vorliegender Arbeit mit der Theorie der Bewegung des Imbibitionswassers mich nicht beschäftigt habe. Indess soviel will ich erwähnen, dass ich keinen Widerspruch darin erblicke, wenn die Imbibition als Capillaritätserscheinung[4] oder als Diffusionsphänomen angesprochen wird. Ersteres kann nicht befremden, wenngleich die Capillaren in den Zellmembranen des Holzes optisch nicht erweislich sind; und nach der heutigen allgemeinen Fassung des Begriffes Diffusion darf die Imbibition, welche ja dadurch gekennzeichnet ist, dass die Wände benachbarter Zellen das Bestreben haben, einen Gleichgewichtszustand im Wasserbesitze herbeizuführen, auch als Diffusionserscheinung genommen werden, wie dies in neuester Zeit auch von anderer Seite geschehen ist[5].

---

[1] Compt. rend. T. 50 (Mémoire sur l'équilibre et le mouvement des liquides etc.).

[2] Sitzungsber. der kais. Akad. der Wissensch. zu Wien. Mathem.-naturw. Classe, Bd. 50, Abth. 1, pg. 106 ff.

[3] So hat z. B. Meyen (Neues System der Pflanzenphysiologie, Bd. II) mehrfach (l. c. pg. 52 und 55) hervorgehoben, dass wenigstens zu bestimmten Zeiten das Wasser in den Elementen des Holzkörpers „durch die Substanz der Wand geführt wird"; allein er war weit entfernt, die Bedeutung der Imbibitionskraft für die Leitung des Wassers im Holze zu erfassen, vielmehr hielt er die Membrandiffusion für die alleinige Ursache der Saftbewegung in der Pflanze (l. c. pg. 79—94). — Ob des berühmten Hales Verdienste für die Theorie der im Holze wirkenden Imbibitionskraft nicht überschätzt wurden, wäre noch zu untersuchen.

[4] Wie dies von Hofmeister (Flora, 1862, pg. 100) zuerst geschah.

[5] Vergl. N. J. C. Müller, Botan. Unters. II, pg. 33.

In der vorliegenden Abhandlung beschränke ich mich darauf, zu versuchen, den Zusammenhang zwischen dem anatomischen Baue des Holzes und der Bewegung des Imbibitionswassers in demselben mit Rücksichtnahme auf die Betheiligung der einzelnen histologischen Elemente an der Leitung des letzteren, experimentell darzulegen.

---

1. Die Leitungsfähigkeit des Holzes für imbibirtes Wasser.

Schon Hales[1] wusste, dass der Holzkörper das Wasser nicht nur in axialer, sondern auch in einer hiezu geneigten Richtung aufwärts zu leiten vermag. Er machte in einem Eichenzweige von $^7/_8$ Zoll Durchmesser und 6 Fuss Länge, 7 Zoll vom Ende entfernt, eine bis an das Mark reichende Einkerbung und 4 Zoll darüber, jedoch diametral gegenüber eine zweite ebenso tief in den Stamm hineinragende, stellte den Zweig ins Wasser und liess ihn transspiriren. Der Zweig nahm aus dem Wassergefässe etwa halb soviel Wasser als ein Zweig derselben Art, dem aber keine Einschnitte beigebracht wurden. Das Wasser konnte hier und in anderen ähnlichen Versuchen, die Hales anstellte, vertical aufwärts nur bis zur oberen Schnittwunde dringen, und konnte nur durch seitliche Bewegung weiter aufwärts in den Stamm geleitet werden.

Um eine möglichst genaue Vorstellung von den Richtungen zu erhalten, in welchen das Holz Imbibitionswasser zu leiten vermag, schnitt ich Würfel aus frischem Holze, welche von Querschnitts-, Secanten- und Radialflächen begrenzt waren, und liess einige derselben blos mit je einer Querschnittsfläche, andere blos mit einer Secantenfläche, andere blos mit je einer Radialfläche ihr Wasser an die Atmosphäre abgeben, indem ich die übrigen Grenzflächen durch Knetwachs an der Wasserabgabe verhinderte. Jeder dieser Würfel wurde nach einiger Zeit für die herrschende Luftfeuchtigkeit lufttrocken. Würfel, an denen eine Kante durch eine beliebig gegen die Richtung der Axe geneigte

---

[1] Statical essays IV. S. auch Duhamel, Physique des arbres. Deutsche Übersetzung, Bd. II, pg. 223.

Schnittfläche abgetragen wurde, und die blos durch diese Schnittfläche Wasserdampf abgeben konnte, verloren eben soviel Wasserprocente als, bei gleicher Luftfeuchtigkeit, die übrigen. Es folgt aus diesen Versuchen, dass das imbibirte Wasser im Holze nach jeder beliebigen Richtung hingeleitet werden kann und jedes Wassermolecül zum mindesten in den Richtungen der drei anatomischen Hauptschnitte im Holze sich fortzubewegen vermag. Ein schiefes Aufsteigen des Wassers im Holzkörper ist schon durch die Hales'schen Experimente erwiesen worden; doch scheint der Gang der Wasserabgabe bei den entkanteten Würfeln zu ergeben, dass das Aufsteigen des Wassers in schiefer Richtung nicht geradlinig erfolgt, sondern dieser Effect durch sich combinirende transversale und longitudinale Bewegungen der Wassermolecüle zu Stande kommt, was die weiter unten folgenden Betrachtungen noch klarer machen werden.

2. Welche Elemente des Holzkörpers leiten das imbibirte Wasser?

Es ist wohl von vornherein wahrscheinlich, dass alle Elemente des Holzkörpers: Holzzellen, Gefässe, Markstrahlen und Holzparenchymzellen an der Leitung des Imbibitionswassers betheiligt sind. Die angestellten Versuche haben dies auch zur Evidenz bewiesen.

Verschliesst man ein Stück frisches Eichenholz bis auf den Querschnitt sorgfältig mit Siegellack, und überstreicht man den Querschnitt sorgfältig bis auf die riesigen Gefässe des Frühlingsholzes mit Asphaltlack, so gibt das Holzstück sein imbibirtes Wasser solange ab, bis es lufttrocken geworden. Verschliesst man den Querschnitt sorgfältig bis auf die Inseln dickwandiger Holzzellen, so werden auch derartig vorbereitete Holzstücke lufttrocken. Dass auch die Markstrahlen imbibirtes Wasser leiten, lehrte auf das Deutlichste das Holz einer Protea, dessen Markstrahlen eine Breite von 1—2 Mm. erreichten. Es war nicht schwierig, auf dem Sehnenschnitte die Markstrahlen oder die Holzzellen vor Verdunstung zu schützen. Es zeigte sich nicht nur, dass sowohl die Holzzellen auf diesem Schnitte Wasserdampf abgeben, und dass auch die Markstrahlen sich ähnlich verhielten; es konnte durch die Wage auch unschwer constatirt werden, dass

auf diesem Schnitte die Markstrahlen sogar mehr Wasser abgaben, als die Holzzellen. An dem Holze der *Ochroma Lagopus*, welches nur arm an Holzzellen ist, hingegen Holzparenchym ausserordentlich reichlich führt, konnte ich feststellen, dass auch die Elemente dieses Gewebes an der Fortführung des imbibirten Wassers stark betheiligt sind. Aus meinen Versuchen ergibt sich, dass alle Elemente des Holzkörpers die Fähigkeit haben, Imbibitionswasser zu leiten.

3. Die Leitung des Wassers durch die Substanz der Zellwand.

Schon im Eingange wurde erwähnt, dass Sachs jüngsthin die Vermuthung aufstellte: in Holzzellen und Gefässen, deren Hohlräume uns frei vom Wasser zu sein scheinen, könnte das Wasser auch an der Innenseite der genannten Capillaren in einer dünnen Wasserschichte aufsteigen, deren Wahrnehmung sich der directen Beobachtung entzieht.

In jenen Holzzellen und Gefässen, welche durch Tüpfel offen communiciren, wäre ein solches capillares Aufsteigen von Wasser nicht undenkbar. Auch sprechen theoretische Gründe für die Möglichkeit dieses Vorganges. Es schien mir desshalb wichtig, einen Weg ausfindig zu machen, um den wahren Sachverhalt festzustellen.

Zu diesem Behufe verfertigte ich je zwei gleich grosse und gleich schwere Cylinder aus frischem Holze, verschloss jeden derselben bis auf eine Querschnittsfläche mit zähem Siegellack von niederem Schmelzpunkte. Einer dieser Cylinder wurde ohne weiters an der Luft trocknen gelassen, der zweite wurde früher unter der Luftpumpe injicirt. Als Injectionsmasse wählte ich anfänglich eine 67procentige mit Carmin stark gefärbte Gummilösung, welche das Holz nicht zu imbibiren vermochte; da aber selbst das lufttrocken gewordene Gummi, wie ich mich später überzeugte, Imbibitionswasser aus dem Holze aufnimmt und selbes in Dampfform an die Atmosphäre abgibt, so wählte ich später dicken Asphaltlack, mit etwa 70 Procent Trockensubstanz, welcher nicht nur das Holz nicht imbibirte, sondern auch — bei der kurzen Dauer des Versuches — als undurchlässig für das Imbibitionswasser des Holzes anzusehen ist. Nach beendigter Injection wurde der aussen anhaftende Asphaltlack entfernt, was

an den mit Siegellack verschlossenen Partien des Holzes sehr vollständig gelang; vom Querschnitte musste aber eine dünne Lamelle mit einem scharfen Scalpelle abgeschnitten werden, um auch die auf ihre Wasserdurchlässigkeit zu prüfende Zellmembranen auf dem Querschnitte vom Asphaltlack vollständig zu befreien. Eine etwa gei ch grosse Lamelle trug ich auch von dem Vergleichscylinder ab. Durch Prüfung des injicirten Cylinders nach Beendigung des Versuches überzeugte ich mich, ob die Injection gelungen war oder nicht, und nur im ersteren Falle legte ich auf das Resultat des Versuches Gewicht. Die Injection hielt ich aber dann für gelungen, wenn ich nicht nur am Querschnitte bemerkte, dass die Injectionsmasse die Hohlräume der Zelle, beziehungsweise Gefässe, Porencanäle und sogar die Intercellulargänge vollständig ausfüllte, sondern auch am Längsschnitte fand, dass die Injectionsmasse die am Querschnitt offenen Zellen vollkommen ausfüllte. An allen Holzarten, welche Imbibitionswasser, aber kein capillares Wasser mehr führten, oder bei denen wenigstens das capillare Wasser durch kurzes Verweilen in einem halbfeuchten Raume aus den den Querschnitt begrenzenden und der etwas tiefer gelegenen Zellen verschwunden war, gelang es stets vollkommen, sowohl durch concentrirte Gummilösung als durch dicken Asphaltlack die Injection durchzuführen.

Der injicirte Cylinder und der Vergleichscylinder wurden in demselben Raume, also bei gleicher Feuchtigkeit der Luft und derselben Temperatur liegen gelassen, und ihre Wasserabgabe von Zeit zu Zeit bestimmt.

I.

Versuch mit einem entrindeten Stammstück von *Pinus sylvestris*. Injectionsmasse: Asphaltlack.

Wassergehalt = 45·2%. Gewicht jedes der beiden Holzcylinder = 2·012 Grm.

	Gewichtsverluste des injicirten Stückes nach je 24 Stunden in Mgr.	Gewichtsverluste des unveränderten Stückes nach je 24 Stunden in Mgr.
1.	230	250
2.	201	211
3.	142	145

	Gewichtsverluste des injicirten Stückes nach je 24 Stunden in Mgr.	Gewichtsverluste des unveränderten Stückes nach je 24 Stunden in Mgr.
4.	48	28
5.	36	12
6.	26	13
7.	18	14
8.	21	15
9.	10	9
10.	3	3
11.	—2	—1
12.	—1	—1
13.	0	0
	732	698

Aus dieser Versuchsreihe ist ersichtlich, dass die beiden Versuchsstücke nicht völlig gleiche Gewichtsverluste erlitten. Dennoch zeigten sie bei der Trocknung im Luftbade völlig gleiche Wassergehalte. Der grössere Gewichtsverlust des injicirten Holzes ist offenbar auf Kosten der flüchtigen Substanz der Injectionsmasse zu setzen, und es ist unbedenklich, aus dem Versuche zu abstrahiren, dass das injicirte Holz fast genau soviel Wasser als das nicht injicirte abgegeben hat. Und zwar in derselben Zeit. Befremdlich erscheint nur, dass das injicirte Holz anfänglich weniger, später mehr und schliesslich gleichviel an Gewicht verlor, als das nicht injicirte. Dies wird indess durch den Umstand erklärt, dass bei der Injection unter der Luftpumpe das Holz etwas Wasser verliert, was sich darin zeigt, dass das Holz nach der Injection eine geringere Gewichtszunahme zeigt als dem Gewichte der Injectionsmasse entspricht. In einzelnen Fällen wog das injicirte Holzstück fast ebensoviel vor als nach der Injection. In diesen Fällen war der Verlust an abgegebenem Wasser etwa dem Gewichte der Injectionsmasse gleich. Da nun das injicirte Holz im Beginne des Transspirationsversuches etwas weniger Wasser führte, als das nicht injicirte, die beiden aber zu gleicher Zeit lufttrocken wurden, so folgt hieraus, dass das nicht injicirte Holz etwas mehr Wasser abgibt, als das injicirte. Allein ein Vergleich der beiden Zahlen, welche die

abgegebenen Wassermengen beziffern, und der Umstand, dass das Gewicht der Injectionsmasse nur ein geringes ist, lehren, dass in dem nicht injicirten Holze alles Wasser oder doch fast alles Wasser in den Zellmembranen aufgestiegen sein muss und höchstens eine ganz minutiöse Wassermenge in dem Sinne wie Sachs vermuthet, capillar sich vorwärts bewegt haben kann. Dass in dem injicirten Holze das Wasser nur in der Substanz der Wände fortgeleitet werden konnte, geht daraus hervor, weil die Injectionsmasse ganz dicht die Hohlräume aller jener Zellen, welche unmittelbar das Wasser an die Atmosphäre abgeben, erfüllte.

Nach dem angeführten Versuche verhält sich also ein injicirtes Holz fast genau so, wie ein nicht injicirtes. Die Mitwirkung des Hohlraumes der Elementarorgane bei der Fortschaffung des Wassers ist also fast oder gänzlich auszuschliessen.

Gewichtige Bedenken gegen diese Auffassung können wohl nicht erhoben werden. Höchstens könnte man sagen: Das injicirte Holz kann das Wasser nicht in einer der inneren Zellwand adhärirenden Wasserschichte capillar austreten lassen, weil der Hohlraum der Zelle mit der Injectionsmasse ausgefüllt ist, und nunmehr ist das Wasser genöthigt, in der Substanz der Wand aufzusteigen. Damit ist aber zugegeben, dass die Substanz der Zellwände das Wasser in ausgiebiger Weise zu leiten vermag und damit verliert die im Grunde doch ganz hypothetische Sachs'sche Anschauung ihre Stütze.

Sachs [1] sagt ja selbst, dass bei der Bewegung des Wassers im Holzkörper entweder die Strömung durch die Substanz, oder das capillare Aufsteigen des Wassers an den Innenwänden der Holzzellen und Gefässe anzunehmen sei.

Einen Einwand gegen die Exactheit des Experimentes, dahingehend, dass die Injectionsmasse sich nicht dicht an die Innenwände der Zellen und Gefässe angelegt hat, halte ich für unberechtigt, da die schärfste mikroskopische Untersuchung keinen freien Raum zwischen Injectionsmasse und Zellwand erkennen lässt. Dass das Gummi an der Zellwand bei der Injection adhärirt, wird wohl niemand bezweifeln. Aber es muss auch der Asphaltlack adhäriren, da derselbe, wenn er die querdurch-

[1] L. c. pg. 591.

schnittenen Zellen erfüllt, ebensowenig die Bewegung des Wassers im Holze, wie das Gummi stört.

Ich habe zahlreiche dem Experiment I ähnliche Versuche angestellt, die alle ein gleiches Resultat ergeben haben. Ich lasse hier noch eine Versuchsreihe folgen.

II.

Versuch mit einem entrindeten Stammstück von *Abies excelsa*. Injectionsmasse: Asphaltlack.

Wassergehalt = 42·8%. Gewicht jedes der beiden Holzcylinder = 1·43 Grm.

	Gewichtsverluste des injicirten Stückes nach je 24 Stunden in Mgr.	Gewichtsverluste des unveränderten Stückes nach je 24 Stunden in Mgr.
1.	128	140
2.	99	103
3.	74	79
4.	63	60
5.	51	50
6.	42	38
7.	38	37
8.	36	20
9.	20	8
10.	11	5
11.	6	5
12.	6	3
13.	4	1
14.	1	0
15.	0	0
16.	—1	—1
	578	548

Die angestellten Versuche lassen annehmen, dass in Holzzellen und Gefässen, deren Lumina kein tropfbares Wasser führen, das Wasser durch die Substanz der Zellwände hindurch geführt wird.

4. Die Bewegung des Imbibitionswassers im Holze, wenn letzteres nur nach einer Richtung durch Verdampfung Wasser abzugeben vermag.

In der Pflanze steigt das Wasser nicht nur in der Richtung der Holztheile der Gefässbündel aufwärts, sondern muss sich durch die imbibirten Gewebe auch seitlich bewegen. Es verdampfen z. B. die Oberhautzellen des einjährigen Stammes Wasser; aber auch an mehrjährigen von Periderm bedeckten Stämmen lässt sich ein deutlicher Durchtritt des Wassers durch das Hautgewebe selbst dann noch erkennen, wenn die betreffenden Holzgewächse entlaubt sind, ja sogar wenn dieselben im genannten Zustande Temperaturen unter Null ausgesetzt sind [1], da die Wassergehalte des Baumkörpers vom Herbste zum Frühlinge sinken, während der Vegetationsruhe aber keine oder nur eine unmerkliche Wasseraufnahme aus dem Boden stattfindet, hingegen eine andere Wasserabgabe während dieser Zeit als die genannte, nämlich durch das Periderm der Zweige und jüngeren Äste (und nur bei jungen Individuen auch durch das Periderm des Hauptstammes) erfolgt; so ist wohl nicht daran zu zweifeln, dass das von der Rinde der Bäume abgegebene Wasser aus dem Holzkörper genommen wird. Im Frühlinge und Sommer ist der Austritt des Wassers aus dem Periderm schon in Folge der höheren Temperatur ein grösserer als zur Zeit der Vegetationsruhe. Es muss sich also ein Wasserstrom auch transversal durch das Holz nach dem Periderm hin bewegen, der zunächst die zwischen Periderm und Holz gelegenen Gewebe mit Imbibitionswasser zu versorgen hat. [2]

Es soll hier vorerst gezeigt werden, in welchen relativen Gewichtsmengen das Wasser vom imbibirten Holze abgegeben wird, wenn das Holz gezwungen ist, das Wasser nur durch eine bestimmte Fläche zur Verdampfung zu bringen.

---

[1] S. Wiesner und Pacher: Über die Transspiration entlaubter Zweige und des Stammes der Rosskastanie. Öst. bot. Zeit., 1875, Nr. 5.

[2] Auch N. J. C. Müller (Untersuchungen IV, pg. 153) nimmt einen transversalen Wasserstrom im Stamme an, ohne jedoch dessen Existenz durch den Versuch zu erweisen.

Zu diesem Behufe wurden aus frischem Holze ganz gleich grosse und gleich schwere Formen (Würfeln, Platten, Cylinder) geschnitten, an jeder solchen Form alle Flächen bis auf eine durch Knetwachs oder durch Siegellack verschlossen, die unter einander zu vergleichenden Formen unter völlig gleichen äusseren Verhältnissen zur Verdunstung hingestellt und von Zeit zu Zeit gewogen.

Das Knetwachs schützt, wie ich mich überzeugte, schon in einer Dicke von 2—3 Mm. das Holzgewebe vor Verdampfung, verliert aber doch etwas an Gewicht. Nach einigen Tagen lässt sich diese Gewichtsabnahme stets constatiren. Da man aber durch nebenher anzustellende Versuche, diese — immer sehr kleinen — Gewichtsverluste bestimmen kann, so lässt sich der Fehler in den Resultaten, der dadurch hervorgerufen wird, dass man aus den Gewichtsverlusten auf die Wasserabgabe schliesst, leicht in Rechnung ziehen. In den nachstehenden Versuchen, in welchen der Verschluss der Hölzer mit Knetwachs vorgenommen wurde, ist der hiedurch entstehende Fehler jedesmal berücksichtigt worden. Der Verschluss mit Siegellack bringt in so ferne eine kleine Störung in den Versuch hinein, als in Folge der Erwärmung des Holzes durch das schmelzende Siegellack ein Wasserverlust resultirt, der auf Kosten der an der Luft bei jener Temperatur, bei welcher der Versuch ausgeführt wurde, stattfindenden Verdunstung nicht zu stellen ist. Selbst wenn man einen Siegellack zum Verschlusse verwendet, welcher einen niederen Schmelzpunkt besitzt,[1] so erhält man doch Wasserverluste, welche nahezu 1%, unter Umständen, wenn auch sorgfältig zu Werke gegangen wird, nämlich nicht mehr Siegellack, als zum Verschlusse nothwendig ist, verwendet wird, sogar 2%, bezogen auf das Frischgewicht des Holzes, betragen können. Indess eliminirt sich der Fehler in eine Versuchsreihe meist gänzlich dadurch, dass eben alle Versuchhölzer beim Verschluss mit Siegellack

---

[1] Der zu meinen Versuchen benützte Siegellack erweichte bei 33·5 und schmolz noch unter 38° C. Es zeigte bei völliger Undurchlässigkeit für Wasser auch die werthvolle Eigenschaft, dass es sich bis zum Eintritt der völligen Lufttrockenheit der Hölzer mit diesen ganz gleichmässig zusammenzog und sich an keiner Stelle vom Holze ablöste.

gewöhnlich gleichviel Wasser abgeben. Auch ist man, am Ende der Versuchsreihe, wenn nämlich das Gewicht der Trockensubstanz der Versuchshölzer bestimmt wird, leicht im Stande, an jedem einzelnem Holze die Wassermenge zu berechnen, welche beim Versiegeln verlustig gegangen, und hiebei stellt sich eben heraus, dass die bei den Hölzern einer Versuchsreihe in Folge des Versiegelns erlittenen Gewichtsverlustdifferenzen so klein sind, dass man auf sie keine weitere Rücksicht zu nehmen hat, sondern blos die Gesammtmenge des Imbibitionswassers zu reduciren hat. Diese Reductionen, die indess stets zu nur unerheblich von den unmittelbar erhaltenen Werthen abweichenden Zahlen führen, sind in jenen Versuchsreihen, bei welchen der Verschluss der Hölzer mit Siegellack gemacht wurde, von mir stets durchgeführt worden.

III.

Versuch mit frischem Holze von *Pinus sylvestris*.

Wassergehalt = 43·8%. Verschlussmittel: Siegellack.

Drei Würfel *Q*, *S* und *R*, von welchen jeder nahezu das Volum von 1 CC. und genau das Gewicht von 0·7 Grm. besass.

Q = Würfel, welcher blos durch eine Querschnittsfläche Wasser abgeben konnte.

S = Würfel, welcher blos durch eine Sehnenfläche Wasser abgeben konnte.

R = Würfel, welcher blos durch eine Radialfläche Wasser abgeben konnte.

Temperatur während der Versuchszeit 14—18° C.

Wasserabgabe nach je 24 Stunden in Mgr:

Q	*S*	*R*
110	70	88
59	51	56
35	32	34
10	28	18
5	16	12

Q	S	R
1	9	5
0	4	2
—1	1	0
0	0	0
219	211	215
= 31·2%	= 30·1%	= 30·7%.

IV.

Versuch mit frischem Holze von *Sambucus nigra.*

Wassergehalt = 55·1%. Verschlussmittel: Knetwachs.

Drei gleich grosse Platten *Q*, *S*, *R*, deren Gewicht circa 0·7 Grm. betrug.

Q = Platte, welche blos durch eine Querschnittsfläche transspirirte.
S = Platte, welche blos durch eine Sehnenfläche transspirirte.
R = Platte, welche blos durch eine Radialfläche transspirirte.

Verdampfende Oberfläche jeder Platte = 200 Qu.-Mm.
Temperatur während der Versuchszeit 14—15° C.
Wasserabgabe nach je 24 Stunden in Mgr.:

Q	S	R
269	184	206
26	42	51
12	30	20
8	22	16
6	20	13
2	17	8
1	3	4
1	1	2
1	1	1
0	0	0
0	0	0
326	320	321
= 46·5%	= 45·7%	= 45·8%.

V.

Versuch mit frischem Holze von *Acer pseudoplatanus*.

Wassergehalt = 41·2%. Verschlussmittel: Siegellack.
Drei Würfel *Q*, *S*, *R*. Gewicht eines Würfels = 8 Grm.
Volum eines Würfels = 9·3 CC.
Q, *S*, *R* wie in den Versuchen III und IV.
Temperatur während der Versuchszeit 15—21° C.
Nach je 24 Stunden abgegebene Wassermenge in Mgr.:

Q	*S*	*R*
811	594	417
400	321	186
272	251	182
133	131	109
109	107	101
101	96	97
71	64	89
58	58	82
49	55	68
36	46	61
4	30	53
2	24	46
1	20	45
0	17	40
2047	1814	1576

Zur Zeit des Eintrittes der Lufttrockenheit jenes Würfels, welcher sein Wasser durch den Querschnitt abgab, wurde der Versuch unterbrochen. Nunmehr hatte *Q* 25·6%, *S* 22·6% und *R* 19·7% Wasser verloren.

Diese und zahlreiche andere Versuche, welche mit dem Holze der Eibe, Linde, Tanne, Rosskastanie, Esche, Eiche, Hollunder u. m. a. durchgeführt wurden, gaben ähnliche Resultate.

Trotz mannigfacher Unregelmässigkeiten in der Wasserabgabe, welche zumeist ihren Grund in dem während der Versuchszeit wechselnden Feuchtigkeitsgrade der Atmosphäre haben

dürften, lehren die Versuche doch auf das Bestimmteste, dass reichlich mit Wasser imbibirtes Holz, wenn es gezwungen wird, das Wasser blos nach einer bestimmten Richtung abzugeben, dasselbe axial weitaus reichlicher als transversal leitet. Wasserarmes Holz, welches sich schon dem Zustande der Lufttrockenheit nähert, gibt das Wasser ebenso rasch, ja reichlicher in transversaler Richtung ab als in axialer. Da aber im lebenden Stamme das Holz nie einen so geringen Wassergehalt besitzt, so ist dieses Resultat in physiologischer Beziehung ohne Interesse. Bemerkenswerth erscheint mir hingegen das Resultat, dass Holzarten existiren, welche, wenn sie genöthigt sind, das Wasser nach einer Richtung abzugeben, es reichlicher in der Richtung des Radius, und andere, welche es reichlicher in der Richtung der Tangente leiten. Zu den ersteren, welche also auf der Tangentialfläche das Wasser rascher abgeben, als auf der Radialfläche, gehören z. B. Linde, Ahorn, Rosskastanie; zu den letzteren, welche durch die Radialflächen das Wasser rascher abgeben als auf der Tangentialfläche, zählen alle von mir in dieser Richtung untersuchten Nadelhölzer (Fichte, Tanne, Föhre, Eibe), ferner Eiche und Hollunder.

Ich lasse hier eine kleine Versuchsreihe folgen, welche ein Bild von der Grösse der Abgabe des Imbibitionswassers in verschiedenen Hölzern und bei verschiedener Orientirung der verdunstenden Flächen zu geben geeignet sein dürfte. Es wurden Cylinderausschnitte aus dem Holze von Ahorn, Eiche, Fichte, Föhre, Hollunder und Linde verfertigt von möglichst gleicher Form, von welchen drei gleich grosse und gleich schwere derselben Holzart so mit Knetwachs verschlossen wurden, dass jeder Cylinderausschnitt mit einer 100 Qu-Mm. grossen Fläche zu verdunsten genöthigt war. Eine dieser Flächen entsprach dem Querschnitte, eine zweite dem Tangentialschnitt (die Verdampfungsgeschwindigkeit auf dieser Fläche fällt sehr nahe mit jener auf der entsprechenden Sehnenfläche zusammen), die dritte dem Radialschnitt. Diese Hölzer wurden durch 24 Stunden der Verdunstung bei gleicher Temperatur und gleicher Luftfeuchtigkeit ausgesetzt und hierauf ihre Gewichtsverluste bestimmt.

VI.

Holzart	Wassergehalt im Beginne d. Versuches	Wassermengen, welche abgegeben wurden vom Querschnitt	Tangentialschnitt	Radialschnitt
Ahorn	43%	88 Mgr.	49 Mgr.	31 Mgr.
Eiche	35	103	37	50
Föhre	44	114	61	89
Fichte	56	128	43	96
Linde	51	150	41	38
Hollunder	59	198	65	88

Eine völlig richtige Vorstellung von dem Grade der Verdunstungsfähigkeit des Wassers bei den genannten Holzarten wird durch diese Zusammenstellung nicht erweckt werden können, da nicht nur die disponible Wassermenge der verwendeten Holzarten eine verschiedene war, sondern auch die Volumina der Cylinderschnitte wegen ungleicher Dichte der Versuchshölzer ungleich ausfallen mussten, mithin die Wege, welche die Wassermoleсüle zurücklegen müssten, um aus der freien Schnittfläche austreten zu können, ungleiche Längen hatten. Dies zu thun, lag indess gar nicht im Plane dieser Versuchsreihe. Selbe sollte blos zeigen, dass in an Imbibitionswasser reichen Hölzern das Wasser am reichlichsten axial austritt, und dass sich in Bezug auf die Fortleitung des Imbibitionswassers in radialer und tangentialer Richtung verschiedene Hölzer verschieden verhalten, eine Erscheinung, welche auf den anatomischen Verhältnissen des Holzes und auf der Structur der Elementarorgane beruht, die ich erst in einem späteren Absatze erörtern werde.

Die Versuche III, IV und V lassen trotz der in äusseren Störungen begründeten Unregelmässigkeiten, im grossen Ganzen doch eine bestimmte Gesetzmässigkeit erkennen, welche darin besteht, dass mit dem sinkenden Wassergehalte die Verdunstung am Querschnitte sich immer mehr und mehr jener an einem der Längsschnitte nähert, bis die Verdunstungsgrössen an beiden Flächen die gleichen geworden sind, worauf dann eine Umkehrung des ursprünglichen Verhältnisses eintritt. Die Längsschnitte unter einander zeigen ein ähnliches

Verhalten. In Folge dieser Umstände tritt der Zustand der Lufttrockenheit, d. i. jener Zustand, bei welchem der Wassergehalt des Holzes nur mehr von der herrschenden Luftfeuchtigkeit abhängt, an den mit dem Querschnitte verdunstenden Hölzern später, an den mit den Längsschnitten verdunsteten Hölzern früher ein, als nach den anfänglich stattfindenden Verhältnissen der Wasserabgabe zu erwarten stände. An Hölzern von wenigen Grammen Gewicht tritt häufig in Folge der Umkehrung der Wasserabgabe auf verschieden orientirten Verdunstungsflächen der Zustand der Lufttrockenheit an drei gleich schweren und gleich geformten Stücken desselben Holzes, von welchem eines mit dem Querschnitte, das zweite mit der Radialfläche, das dritte mit der Tangentialfläche verdunstet, gleichzeitig ein (vergl. die Versuche III und IV). Viele in dieser Richtung durchgeführte, zumeist mit kleinen Holzstücken ausgeführte Versuche, verleiteten mich anzunehmen, dass alle unter 10 Grm. wiegende gleich grosse und gleich geformte, mit je einem der drei genannten Schnitte verdunstende Stücke derselben Holzart zu gleicher Zeit lufttrocken werden[1]. Ich habe später einige widersprechende Resultate bekommen. Desshalb fügte ich zu den Versuchen III und IV, bei denen in der That die Lufttrockenheit der Versuchshölzer gleichzeitig eintritt, den Versuch V, aus welchem ersichtlich ist, dass zur Zeit als die Lufttrockenheit des Würfels *Q* bereits eingetreten war, der Würfel *S* noch 3, der Würfel *R* sogar noch 6% Wasser abzugeben hatte, um den Feuchtigkeitsgehalt des mit der Querschnittsfläche verdunstenden Würfels *Q* zu erreichen. Immerhin ist aber mit Eintritt der Lufttrockenheit des durch den Querschnitte verdunstenden Holzes der Feuchtigkeitsgehalt der beiden mit dem Längsschnitte verdunstenden Versuchshölzer nur um geringes von jenem des erstgenannten verschieden.

Es scheint mir erwähnenswerth, dass auch ungleich schwere, aber mit gleich grossen und gleich orientirten verdunstenden Flächen versehene Hölzer derselben Art, wenn ihre Gewichtsdifferenzen keine allzu grossen sind, unter gleichen äusseren Verhältnissen in nahezu gleichen Zeiten lufttrocken werden, wie die nachfolgenden Versuche (VII und VIII) zeigen.

---

[1] S. vorläufige Mittheilung in bot. Zeit. p. 353.

Q und *q* sind zwei vom Mark befreite Cylinderausschnitte, geschnitten aus dem Holze von *Sambucus nigra*, von gleichem Querschnitte aber ungleicher Höhe. Die Höhe von *Q* beträgt 40, die von *q* blos 20 Mm. *Q* wog im Beginne des Versuches 2·419, *q* hingegen 1·207 Grm., der Wassergehalt betrug im Beginne des Versuches 58·1%. Die Cylinderausschnitte waren bis auf die beiden Querschnittsflächen, deren Fläche 98 Qu.-Mm. betrug, mit Siegellack verschlossen. Temperatur während des Versuches 13—16° C.

VII.

Wasserabgabe nach je 24 Stunden in Mgr.:

Q	*q*
382	286
305	101
210	84
91	41
75	28
40	9
13	7
16	9
10	4
12	5
11	4
6	3
5	2
4	2
3	1
2	1
1	1
1	1
1	1
1	0[1]
1189 Mgr. = 49·1%	590 Mgr. = 48·8%.

[1] Von hier ab eintretende kleine Zu- und Abnahme der Gewichte, welche blos von der Feuchtigkeit der Luft abhängig waren, wurden in die Tabelle nicht eingetragen.

Die nachfolgende Versuchsreihe bezieht sich auf 4 Platten aus frischem Holze der *Pinus Laricio*, dessen Wassergehalt 41% betrug. Die Platten (sie sind in der folgenden Zusammenstellung mit 2 Mm., 4 Mm., 8 Mm., 16 Mm. bezeichnet) hatten die Dicke von 2, 4, 8 und 16 Mm. und im Beginne des Versuches die Gewichte 0·163, 0·326, 0·652 und 1·304 Grm. Die Verdunstung erfolgte durch beide Querschnittsflächen, die Seitenwände waren durch Knetwachs verschlossen.

VIII.

Verdunstung nach:	2 Mm.	4 Mm.	8 Mm.	16 Mm.
1 Stunde	14 Mgr.	15 Mgr.	17 Mgr.	19 Mgr.
1 Stunde	12	14	16	19
1 Stunde	11	13	15	18
1 Stunde	11	13	14	14
20 Stunden	7	55	138	207
24 Stunden	1	2	16	102
24 Stunden	0	1	3	46
24 Stunden	1	1	1	4
24 Stunden	0	0	1	3
	57 Mgr.	118 Mgr.	221 Mgr.	432 Mgr.
	=34·9%	=34·9%	=33·8%	=32·9%.

Man sieht aus diesen Zahlen, dass zur Zeit, als die 2 und 4 Mm. dicken Platten die Lufttrockenheit erreicht hatten, die 8 und 16 Mm. dicken von diesem Zustande nicht mehr weit entfernt waren, indem ihre Wassergehalte blos um etwa 1—2% mehr betrugen.

Ähnliche Versuche, wie die in diesem Paragraphe vorgeführten, wurden, freilich aus anderen Gesichtspunkten, bereits von Nördlinger angestellt, welche er in seinem verdienstvollen Werke über die technischen Eigenschaften der Hölzer mittheilte.[1]

In dem Capitel: „Wasserdunstung entrindeten grünen Holzes“ legt sich Nördlinger die Frage vor, ob ein und dasselbe Holz in der Wasserverdunstung Unterschiede zeige, je nachdem

[1] L. c. pg. 68—73.

es mit der Hirnfläche (Querschnitt) oder mit der Wölbfläche (Tangentialfläche) oder mit der Spiegelfläche (Radialfläche) unter gleichen äusseren Verhältnissen gleich viel oder verschieden viel Wasser aushauche. Die ersten rohen Versuche, welche der genannte Forscher anstellte, bestanden darin, dass er Stücke frischen Holzes mit jeder der genannten Fläche an das kalte Fenster lehnte und nachsah, welche Schnittfläche den stärksten Dunstbeschlag am Glase hervorruft. Er fand hierbei, dass die Hirnfläche am stärksten, die Wölbfläche am wenigsten dunstet. Ein ähnliches Resultat, nämlich stärkere Abgabe des Wassers an der Querschnittsfläche gegenüber der Tangentialfläche, hat Nördlinger aus zwei von Duhamel[1] angestellten Versuchen, zu welchen ein berindetes und ein unberindetes Holzstück diente, berechnet. Um genauere Zahlen über die Wasserverdunstung des Holzes an den verschiedenen Schnitt- und Spaltflächen eines Holzes zu gewinnen, fertigte Nördlinger aus verschiedenen Arten frischen Holzes (Esche, Waldbirnbaum, Elsbeerbaum und Fichte) Täfelchen von gleicher Dicke an, deren grosse Flächen einer der drei hier so oft genannten Schnittrichtungen entsprach, und wog dieselben von Zeit zu Zeit. Dass Nördlinger auf diese Weise zu keinem präcisen Resultate gelangen konnte, ist nach den oben mitgetheilten Versuchen, bei welchen stets die strengste Rücksicht auf den Verschluss jener Flächen, deren Verdunstung im Experimente auszuschliessen ist, genommen wurde, wohl selbstverständlich. Nördlinger[2] fasst seine mit den Holzplatten erzielten Resultate folgendermassen zusammen: „das Gesammtergebniss aller dieser Versuche ist also, dass nicht nur während der allmäligen Austrocknung das Verhältniss des Gewichtsverlustes zwischen den verschiedenen Täfelchen öfters umgeschlagen hat, sondern auch die procentische Vergleichung des Verlustes in der ersten Zeit mit dem ursprünglichen Gewichte oder mit der ganzen endlichen Verdunstungsgrösse nicht nur das erwartete Gesetz nicht mit Entschiedenheit hervortreten lässt, sondern, z. B. beim Fichtenholz nicht einmal die vorwiegende Verdunstung durch die Hirnfläche zum Vorschein kommt. Viel-

[1] Exploit. II. pg. 116.
[2] L. c. pg. 73.

mehr ist wohl aus den Versuchen der Schluss zu ziehen erlaubt, dass, solange das Holz noch sehr saftleitungsfähig ist, wie dasjenige, welches hier verwendet wurde, der Saft mit grosser Leichtigkeit und ohne dass der anatomische Bau von grossem Einflusse wäre, in beliebiger Richtung strömt.“ Indess darf ich nicht unerwähnt lassen, dass Nördlinger es selbst für angemessener hält, bei der Wiederholung der Versuche die Umfangsflächen der Täfelchen durch Theer, Siegellack oder dgl. ausser Wirksamkeit zu setzen.

5. Die gleichzeitig nach mehreren Richtungen stattfindende Bewegung des Imbibitionswassers im Holze.

In älteren Stämmen und Ästen, welche mit so dicken Borke- oder Peridermlagen bedeckt sind, dass sie kein Wasser auszuhauchen vermögen, wird das Imbibitionswasser durch das Holz nur in axialer Richtung geleitet. Es werden hiedurch die höher liegenden Partien des Holzkörpers, welche Wasser an das Periderm oder an die Blätter abgeben, wassergesättigt erhalten. Das Holz der Zweige und jüngeren Äste ist aber gezwungen das Wasser nicht nur axial sondern auch transversal zu leiten, und zwar ist wohl von vornherein klar, dass in der Ebene eines Querschnittes die transversal sich bewegenden Wassermoleciile, wenn nicht ausschliesslich so doch vorwiegend, den Weg nach der Rinde hin nehmen, also radial vorwärts schreiten werden. Ob in lebenden Stämmen das Wasser auch die Richtung der Tangente oder der Sehne von Zelle zu Zelle durch die Membran wandert, lasse ich einstweilen noch unerörtert.

Aus den im letzten Paragraphen mitgetheilten Thatsachen ist ersichtlich, dass bei einseitiger Leitung die Wassermengen, welche nach den Richtungen der anatomischen Hauptschnitte im Holze durch Imbibition fortgeschafft werden, nach diesen Richtungen verschieden gross ausfallen, selbst wenn die Bedingungen für die Abgabe des Wassers die gleichen sind. Man darf wohl als unbedenklich aussprechen, dass die Verhältnisse der relativ stärkeren oder schwächeren Leitung des Imbibitionswassers sich gleich bleiben werden, ob die Wasserabgabe eines imbibirten Holzes an die Atmosphäre oder an eine im Holzkörper der Pflanze benachbarte weniger stark imbibirte Gewebs-

partie erfolgt; in beiden Fällen wird das Imbibitionswasser axial reichlicher als transversal fortschreiten, in beiden Fällen wird das Wasser im Holze gewisser Baumarten radial, im Holze anderer wieder tangential in grösserer Menge sich vorwärts bewegen.

Da es nun von vornherein nicht gewiss ist, ob das Imbibitionswasser im Holze nach den Richtungen der anatomischen Hauptschnitte sich in jenem Mengenverhältniss bewegt, wie dies bei den oben mitgetheilten Versuchen der Fall, wo es nur einseitig austreten konnte, so trachtete ich das Experiment so einzuleiten, dass das Holz gezwungen wurde, sein Imbibitionswasser gleichzeitig nach drei Richtungen abzugeben.

Ein 3 Ct. hoher Würfel aus Ahornholz von 35% Wassergehalt, von drei Sehnen-, zwei Querschnitts- und einer Radialfläche begrenzt, wurde von zwei Seiten (gegenüberliegende Sehnenflächen) frei gelassen, an den vier übrigen Flächen mit festgehefteten dünnen Kautschukplatten dicht verschlossen. In dem Kautschukbeleg befanden sich zwei quadratische Ausschnitte, jeder an 3 Qu.-Ct. Fläche, eine an der Radialfläche, der zweite an der daranstossenden Querschnittsfläche. Die Ausschnitte wurden durch cylindrische Glasgefässe mit abgeschliffenem Rande bedeckt, welche Chlorcalcium enthielten und nach aussen hin so mit getrockneter Baumwolle geschlossen waren, dass das Chlorcalcium mit dem Holze nicht in Berührung kommen konnte. Die Glasgefässe wurden an dem Kautschukbeleg mittelst Kautschukbänder so festgeklemmt, dass kein Wasser aus denselben austreten konnte. Von Zeit zu Zeit wurden die Chlorcalciumbehälter selbstverständlich, nachdem sie mit gewogenen, dichtschliessenden Pfropfen geschlossen wurden, gewogen.

Es wurde folgende Wassermenge an das Chlorcalcium abgegeben in Mgr.:

IX.

Nach Tagen	Radialfläche	Querschnittsfläche
4	938	1347
4	500	1042
4	394	860
4	296	682

Nach Tagen	Radialfläche	Querschnittsfläche
8	521	959
12	720	1488
30	1611	2721
66	4.980	9.099

Da zwei mit dem Versuchswürfel gleich schwere Würfel, welche aus demselben Ahornholz geformt wurden, die aber blos einseitig das Wasser abzugeben vermochten, und zwar eine mit einer 3 Qu.-Ctm. grossen Querschnitts-, der andere mit einer ebenso grossen Radialfläche in 66 Tagen, bei gleichen äusseren Temperaturs- und Feuchtigkeitsverhältnissen das Wasser in der Proportion 7.427 Grm. : 9.030 Grm. abgaben, so lässt der mitgetheilte Versuch vermuthen, dass, wenn ein Holz gleichzeitig nach verschiedenen Richtungen das Wasser abgibt, die Wasserabgabe in axialer Richtung verglichen mit jener in transversaler relativ noch reichlicher als bei einseitiger Wasserabgabe ausfällt.

6. Die Ursachen der ungleichen Leitung des Wassers im Holze nach den Richtungen der anatomischen Hauptschnitte.

Die aus den oben mitgetheilten Versuchen (III—VI; IX) klar hervortretende Thatsache, dass stark imbibirtes, dem lebenden Stamme unmittelbar entnommenes Holz das Wasser axial weitaus reichlicher als transversal leitet, lässt von vornherein mehrere Erklärungen zu.

Vor Allem ist leicht einzusehen, dass Wasserverluste Bewegung des Imbibitionswassers zur Folge haben; denn nur, wenn dampfförmiges Wasser vom Holze abgegeben wird, ändern sich die Mengen des Imbibitionswassers in den Schichten des Holzes und es strömt das Wasser in den Membranen von den wasserreichen Gewebstheilen nach den wasserärmeren. Im feuchten Raume unterbleibt die Bewegung des Imbibitionswassers. Würde das Holz, wenn es gezwungen wird, das Wasser einseitig auszuhauchen, auf jeder Schnittfläche, unter gleichen äusseren Bedingungen in gleichen Zeiten gleiche Wassermengen abgeben, so wäre hieraus der Schluss zu ziehen, dass der Holzkörper das Wasser nach allen Richtungen gleich leitet, und dass die Grösse

der Wasserbewegung blos von der Menge des abgegebenen Wassers abhängig ist.

Da das Holz aber bei einseitiger Wasseraushauchung, je nach der Orientirung der verdampfenden Fläche, grössere oder kleinere Mengen von Wasser an die Atmosphäre abgibt, also der Transport des Imbibitionswassers unter gleichen inneren und äusseren Verhältnissen ein anderer ist, je nach der Richtung, welche die sich nach den Orten des Wasserverlustes hinbewegenden Wassermolecüle einzuschlagen genöthigt sind; so ist nicht zu bezweifeln, dass die Grösse der Wasserbewegung von der Structur des Holzes abhängig ist.

Die Verdunstungsversuche an Hölzern lassen wohl folgende Vorstellung über die ungleiche Leitung des Imbibitionswassers als die naturgemässeste erscheinen. Jedes histologische Element leitet das Wasser in der Richtung der Axe reichlicher als transversal, so zwar, dass, wenn eine faserntförmige Zelle, deren Membran ursprünglich an allen Orten gleich wassergesättigt ist, an den Enden einen Wasserverlust erleidet, eine gleichmässige Wasservertheilung sich rascher einstellen wird, als wenn ein gleich grosser Wasserverlust in der Peripherie der Fasern stattgefunden hätte.

Ehe ich diese Vorstellung näher präcisire, will ich einige Bedenken, welche gegen die Richtigkeit desselben erhoben werden könnten, beheben.

Nördlinger[1] spricht sich über die relativ stärkere Verdunstung der Hölzer an der Hirnseite folgendermassen aus. „Das stärkste Dunsten der Hirnseite erklärt sich daraus, dass bei Laub- wie bei Nadelhölzern die durchschnittenen, spindelförmigen Holzzellen und bei den Laubhölzern zugleich die vielen groben oder feineren Holzröhren (Gefässe) sich an der Hirnseite öffnen. Folgerecht muss die Verdunstung den höchsten Grad erreichen, wo die Holzröhrenkreise, wie z. B. im Splint des Stammes oder den Ästen alter Eichen und Edelkastanien, sehr enge stehen.“ Es hat nach dieser Stelle den Anschein, als würde Nördlinger die starke Wasserbegrenzung eines verdunstenden Holzes ausser Zusammenhang finden mit der im lebenden Stamme

[1] L. c. pg. 69.

vor sich gehende starke Aufwärtsbewegung des Imbibitionswassers, und als würde dieselbe durch die künstliche Öffnung der Holzzellen, beziehungsweise Holzzellen und Gefässe hervorgerufen werden. Ich will nun untersuchen, ob die durch Anschnitt des Holzes hervorgerufene Öffnung der Elementarorgane des Holzes die starke axiale Strömung des Imbibitionswassers im Vergleiche zur transversalen, hervorzurufen im Stande ist.

Wäre der künstliche Anschnitt des Holzes die Ursache der relativ starken Verdunstung am Querschnitt, so könnte die letztere entweder dadurch bewerkstelligt werden, dass die Verdampfung des Wassers durch die innere Oberfläche der auf dem Querschnitt geöffneten Zellen und Gefässe begünstigt wird (Nördlinger's Ansicht), oder dadurch, dass das einfache Durchschnittensein der Zellmembranen den verhältnissmässig reichlichen Austritt des Wassers zu Wege bringt; in beiden Fällen hätten die Verdunstungsversuche mit aus dem Stamme herausgeschnittenen Holzstücken kein physiologisches Interesse.

Die erste Annahme hat viel Bestechendes. Die innere Oberfläche der durchschnittenen Zellen ist eine so grosse (sie ist beispielsweise beim Holze unserer Nadelbäume mehr als hundertmal grösser als der von den geöffneten Zellen constituirte Querschnitt), dass schon eine schwache Verdunstung an dieser Fläche hinreichen würde, um die relativ starke Verdunstung am Querschnitt zu erklären. Diese Annahme ist aber unbegründet. Die oben mitgetheilten Injectionsversuche (I und II) haben ja gezeigt, dass die Verdunstung an den Innenflächen der durchschnittenen Zelle eine im günstigsten Falle nur ganz geringe ist, indem die überwiegende Hauptmasse des Wassers in der Zellwand aufsteigt. Im Holze des lebenden Stammes ist begreiflicherweise die Menge des an den Innenwänden der Zellen verdampfenden Wassers eine noch geringere als in meinen Versuchen mit Hölzern.

Was die zweite Annahme anlangt, dass die relativ starke Verdunstung am Querschnitt ihren Grund in dem Durchschnittensein der Zellen habe, so ist zunächst zu bemerken, dass auch die entgegengesetzte Annahme, die gleiche, vielleicht sogar eine grössere Berechtigung hat. Wäre nun die gemachte Annahme richtig, so müsste die Sehnenfläche, auf welcher die Markstrahlenzellen durchschnitten sind, mehr Wasser abgeben, als die Radial-

fläche, auf welcher alle begrenzenden Elemente geschlossen sind. Aber gerade die Mehrzahl der Hölzer bietet das entgegengesetzte Verhalten dar. Es muss aber noch weiter hervorgehoben werden, dass die Tangentialfläche eines bestimmten Holzes, welche aus geschlossenen Zellen besteht, in der Regel nur um geringes weniger verdunstet, als die entsprechende Sehnenfläche, welche. in dieser Richtung dem Querschnitt sich nähernd, vornehmlich aus durchschnittenen Zellen besteht. Bei sehr homogenen Hölzern, wo also der Unterschied von Frühlings- und Herbstholz ein geringer ist, ist die Verdampfungsgrösse des Tangentialschnittes jenem des Sehnenschnittes in der Regel gleich; ja ich habe in einzelnen Fällen *(Buxus sempervirens)* sogar an der Tangentialfläche eine stärkere Verdunstung als auf der Sehnenfläche wahrgenommen, was dafür sprechen würde, dass die unverletzten Zellwände das Wasser leichter abgeben als die durchschnittenen. Warum alle jene Hölzer mit ausgeprägten Herbstholzzellen am Sehnenschnitt mehr Wasser abgeben als die an der entsprechenden Tangentialfläche, wird weiter unten, wo ich über den Zusammenhang der Leitung des Wassers und der Verdickung der Zellwände abhandeln werde, klar werden. — Das Durchschnittensein der Zellwand als Ursache der relativ starken Abgabe des Wassers am Querschnitte des Holzes anzunehmen, hat mithin ebenfalls keine Berechtigung.

Es bleibt also nichts anderes übrig, als den Grund der ungleich starken Leitung des Wassers nach den Richtungen der anatomischen Hauptschnitte in der Structur des Holzes zu suchen.

Alle Erscheinungen, welche die Bewegung des Imbibitionswassers im Holze und in den Geweben der Pflanzen überhaupt darbieten, finden ihre ausreichende Erklärung in der naturgemässen Annahme, dass jede Zellwand das Wasser in den Richtungen der Verdickungsschichten am besten leitet; eine Annahme, welche sich auch auf die Leitung der Wärme in den Geweben übertragen lässt. Die Erscheinung, dass das Holz in der Richtung der Axe die Wärme besser leitet als in der Ebene des Querschnittes; die von mir constatirte Thatsache, dass die Markstrahlen in der Richtung des Stammhalbmessers die Wärme besser leiten als in der Richtung der Stammaxe, dass ferner jede langgestreckte Pflanzenzelle in der Richtung ihrer Axe die Wärme

rascher fortpflanzt, als in einer darauf senkrechten[1]; alle diese Erscheinungen lassen sich einfach durch die auch vom histologischen Standpunkte aus ganz naturgemässe Annahme erklären, dass jede Zellwand in der Richtung ihrer Verdickungsschichten die Wärme am besten leitet.

Die oben gemachte Annahme, welche ich selbst nur als eine hypothetische hinstelle, wenngleich ich keine einzige Wahrnehmung machte, welche derselben widersprechen würde, fordert zur Untersuchung der Frage auf, ob der ungleich grosse Transport des Wassers eines verdunstenden Holzes in axialer und transversaler Richtung darauf beruht, dass, gleiche Geschwindigkeiten der das Holz nach den verschiedenen Richtungen durchsetzenden Wassermolecüle vorausgesetzt, die letzteren reichlicher aus dem Querschnitt als aus den Längsschnitten austreten, mithin von einem idealen Querschnitt an den benachbarten reichlicher als von einem idealen Längsschnitt an den zunächstliegenden abgegeben werden; oder darauf, dass die Geschwindigkeit der bei der Verdunstung das Holz durchsetzenden Molecüle eine ungleiche ist, oder endlich, ob nicht diese Erscheinung auf dem Zusammenwirken beider fraglicher Ursachen beruhe.

Unsere Kenntnisse über die Eigenschaft der Zellwand, in der Richtung des Querdurchmessers am weitaus stärksten zu quellen, unsere Erfahrungen über die Volumszunahme bei quellenden, über die Volumsabnahme bei schwindenden Hölzern, die alle auf der relativ starken Quellbarkeit der Zellmembran in der Richtung des Querschnittes beruhen; ferner die Beobachtungen über den Zusammenhang von Schichtung und Streifung der Zellmembran mit der Wasservertheilung in letzteren, lassen wohl keinen Zweifel darüber aufkommen, dass jede ideale Querscheibe eines imbibirten Holzes an die gegen die Verdunstungsfläche hin zunächst gelegene mehr Wasser abzugeben befähigt ist, als eine gleich grosse und gleich dick gedachte radiale oder tangentiale Längsscheibe an die benachbarte, gegen die Verdunstungsfläche hingekehrte unter sonst gleichen Bedingungen abzugeben vermag, selbst unter der Voraussetzung, dass die Bewegung der

---

[1] Über die Wärmeleitung der Pflanzenfasern s. Wiesner, Rohstoffe des Pflanzenreiches. Leipzig 1873, pg. 292.

Wassermolecüle in axialer und transversaler Richtung ein gleich grosse wäre.

Der im Nachfolgenden mitgetheilte Versuch wird indess lehren, dass in einem und demselben Holze unter gleichen äusseren Bedingungen die Geschwindigkeit der Wassermolecüle axial eine viel grössere ist als transversal.

Im Februar gefällte, berindete, etwa 70 Mm. im Durchmesser haltende Eichenstämmchen wurden an den Schnittflächen dicht mit Wachs verschlossen und im Versuchsraume bei einer Temperatur von 14—16° C. eine Woche liegen gelassen. Es liess sich nunmehr annehmen, dass die Eichenstämmchen die Temperatur des Versuchslocales angenommen hatten. Der Wassergehalt des Holzes dieser Stämmchen betrug nunmehr 34·5%. Aus diesem Holze wurden Querscheiben von 3, 5, 10, 15 und 20 Mm. Höhe, aber gleich grossen Endflächen (2×485 Qu.-Mm.) geschnitten; die Seitenflächen wurden durch Wachs sorgfältig verschlossen. Aus demselben Holze wurden auch Längsplatten von 3, 5, 10 und 15 Mm. Dicke aber von gleichen Pinakoidflächen (2×346 Qu.-Mm.) angefertigt; auch bei diesen Platten wurden die Seitenflächen sorgfältig verschlossen. Jede Scheibe oder Platte wurde gleich nach der Herrichtung gewogen, eine Stunde im Versuchsraume bei constanter Temperatur (15° C.) belassen und nochmals gewogen.

Nach Ablauf dieser Zeit hatte jede der Längsplatten nahezu gleich viel Wasser, nämlich etwa 37 Mgr. abgegeben. Da jede der Platten mit beiden Pinakoidflächen verdunstete, so befanden sich anderthalb Millimeter vielleicht nicht einmal so tief unter jeder verdunstenden Fläche die histologischen Elemente des Holzkörpers noch fast genau in jenem Zustande der Imbibition wie im Beginne des Versuches. Nach Ablauf der zweiten Stunde gab die 3 Mm. dicke Platte 32, die übrigen 37—48 Mgr. Wasser ab.

Anders verhielten sich die Querplatten, wie folgende Zusammenstellung lehrt.

X.

Dicke der Scheibe in Millim.	Abgegebene Wassermenge in Mgr. nach 1 Stunde	nach weiteren 2 Stunden
3	68	38
5	77	70
10	88	89
15	94	100
20	103	102

Auch diese Platten verdampften das Wasser mit beiden Endflächen. Nach Verlauf einer Stunde konnte bei der 15 Mm. dicken Querplatte in der von der verdampfenden Oberfläche am fernsten gelegenen Querzone, die etwa 7·5 Mm. hinter den verdunsteten Flächen anzunehmen ist, nicht mehr jener Wassergehalt wie zu Anfang des Versuches herrschen.

Mathematisch genommen sind in der Richtung gegen die Verdunstungsfläche hin die Wassermolecüle aller Schichten in Bewegung; allein ihre Geschwindigkeit nimmt mit der Entfernung von den Verdunstungsflächen ab. In den Längsplatten war nach Ablauf der ersten Stunde die Geschwindigkeit der nach den Verdunstungsflächen hinstrebenden Wassermolecüle schon in einer Tiefe gleich oder kleiner als 1·5 Mm. sehr nahe bei Null, während die etwa 7·5 Mm. hinter der verdunsteten Wasserfläche gelegenen Wassertheilchen der Querplatte schon mit merkbarer Geschwindigkeit der Verdunstungsfläche zueilten.

7. Die relative Geschwindigkeit des Imbibitionswassers in den verschiedenen histologischen Elementen des Holzkörpers.

Man ist darüber im Klaren, dass die Geschwindigkeit des Wasserstroms im Holze von äusseren Bedingungen, und zwar zunächst von all' denjenigen Bedingungen abhängig ist, welche auf die Transspiration wirken, und zwar in dem Sinne, dass alle die Transspiration begünstigenden Einflüsse eine Steigerung der Bewegung des Imbibitionswassers zur Folge haben. Geräth die Transspiration der grünen Vegetationsorgane und des Periderms ins Stocken, so unterbleibt die Bewegung des imbibirten Wassers, vorausgesetzt, dass ein Zustand des Gleichgewichtes die

imbibirten Gewebe beherrscht; ist dieser Zustand nicht erreicht, so wird noch Bewegung des Imbibitionswassers in der Zellmembran so lange stattfinden, bis dieser Zustand erreicht ist.

Geräth das in den Geweben ruhende Imbibitionswasser durch Wiedereintritt der Transspiration in Bewegung, so tritt jener Zustand ein, den wasserverdunstete Holzplatten darbieten: die Bewegung der Wassermoleeüle, welche den transpirirenden Geweben zueilen, ist eine desto grössere, je näher sie diesen Geweben liegen. Die Geschwindigkeit der Moleeüle des Imbibitionswassers ist in diesem Zustande eine ungleiche [1]. Wenn nun auch mit dem Fortschreiten der Transspiration die Bedingungen zu einer gleichmässigen Bewegung des Wassers im Holzkörper der Pflanze gegeben scheinen, so kann es doch im Pflanzenkörper niemals zu einer solchen kommen, weil das Imbibitionswasser in den verschiedenen histologischen Elementen des Holzkörpers selbst unter gleichen äusseren Bedingungen mit verschiedener Geschwindigkeit sich bewegt.

Man kann leicht den Nachweis führen, dass die Markstrahlenzellen in der Richtung des Stammdurchmessers sich das Wasser rascher in jener der Axe des Stammes leiten. Prismen aus frischem Eichenholze, von zwei Querschnitts- und vier Tangentialflächen begrenzt, wurden so hergerichtet, dass das Wasser nur durch die Markstrahlen entweichen konnte. Es geschah dies in folgender Weise. Die Markstrahlen wurden mit Metallstreifen, deren Breite etwas kleiner als die der Markstrahlen war, sorgsam belegt, das ganze Prisma mit leicht schmelzbarem Siegellack verschlossen und noch vor Eintritt der Erhärtung der Verschlussmasse der Metallstreifen entfernt. Durch diese Art der Herrichtung der Versuchshölzer gelang es je zwei Vergleichsprismen zu erhalten, an denen gleich grosse Durchschnittsflächen von Markstrahlen frei gelegt waren, an einem Prisma die quere, an dem anderen die tangentiale Durchschnittsfläche. An zwei solchen Vergleichsprismen, aus einem Eichenholz von 39 Proc. Wassergehalt, erhielt ich bei gleicher Temperatur und gleicher Luftfeuchtigkeit folgende Verhältnisszahlen für die Wasser-

---

[1] Vergl. auch N. J. C. Müller. L. c. II, pg. 33.

verdampfung auf dem Querschnitt (Q) und dem tangentialen Längsschnitte (T) durch die Markstrahlen in einem Zeitraume von 24 Stunden:

$$Q : T = 49·9 : 63·1.$$

Ein ähnliches Resultat erhielt ich an dem Holze einer Protea mit breiten Markstrahlen (vergl. oben pg. 4 und 5).

Schon der Umstand, dass sowohl die Holzzellen und Gefässe als die ganz anders orientirten Markstrahlen in der Richtung ihrer Längsaxen das Wasser am besten leiten, zeigt, dass an einer gleichmässigen Bewegung des Imbibitionswassers im Stamme (der Dicotylen und Gymnospermen) keine Rede sein kann.

Folgende Versuche werden lehren, dass selbst in den Längsfasern eines Jahresringes des Holzes keine gleichförmige Bewegung des imbibirten Wassers stattfindet.

Aus einem frischen Fichtenholze, welches sich durch breite Jahresringe und reich entwickeltes Herbstholz auszeichnete, wurden zwei gleich grosse Würfel geschnitten, ich nenne sie *a* und *b*. Jeder derselben wurde bis auf eine der beiden Querschnittsflächen mit leicht schmelzbarem Siegellack verschlossen. An der freien Fläche des Würfels *a* wurde das ganze Herbstholz durch dicken Asphaltlack geschlossen, an dem Würfel *b* soviel vom Frühlings- und Sommerholze in der gleichen Weise bedeckt, dass die transspirirenden Flächen beider Querschnitte gleiche Grösse besassen. Der Würfel *a* gab nach zwei Stunden 0·98%, der Würfel *b* hingegen blos 0·67% Wasser durch Verdunstung ab. Nach 24 Stunden hatte *a* 1·46, *b* hingegen blos 1·13% Wasser ausgehaucht. Da ich durch genaue Versuche mich davon überzeugte, dass der Wassergehalt des Herbstholzes mit jenem des Frühlingsholzes übereinstimmte — jeder betrug 27·4% — mithin die Annahme ausgeschlossen war, dass die Substanz des Herbstholzes das Wasser mit grösserer Kraft zurückhält als die Substanz des Frühlings- und Sommerholzes, so ist dem Versuche zu entnehmen, dass das aus dünnwandigen Elementen bestehende Holz (Frühlings- und Sommerholz) das imbibirte Wasser rascher leitet als das

aus dickwandigen Elementen zusammengesetzte Herbstholz.

Zwei gleich schwere millimeterdicke Platten aus 38% Wasser haltendem Fichtenholze, von denen eine aus Herbst-, die andere aus Frühlings- und Sommerholz verfertigt war, wurden unter gleichen äusseren Verhältnissen an der Luft trocknen gelassen; erstere gab in 5 Stunden 14·4, letztere in derselben Zeit 20·7% Wassser in Dampfform ab. Auch dieser Versuch bestätigt die Richtigkeit des oben ausgesprochenen Satzes.

Bekanntlich hat Mac Nab[1] die Aufsaugung von Lithionsalzen durch transspirirende Zweige benützt, um aus der Geschwindigkeit der Aufwärtsbewegung des in ausserordentlich kleinen Mengen spectralanalytisch nachweisbaren Lithions die Geschwindigkeit des Wasserstromes im Holzkörper der Pflanzen abzuleiten. Er setzte die Geschwindigkeit des Lithions gleich jener des Wassers, was offenbar nicht erlaubt ist.

Vor Allem ist gegen Mac Nab's Versuch zu bemerken, dass das Lithion nicht mit der Geschwindigkeit des Wassers, sondern mit einer geringeren in der Zellwand aufsteigen wird, nämlich unter der Voraussetzung, dass das Vorwärtsdringen der Lithionmolecüle, gleich jenen der Wassermolecüle lediglich eine durch Transspiration hervorgerufene Imbibitionserscheinung ist. Nun kann man sich aber durch einen sehr einfachen Versuch davon überzeugen, dass das Lithion ins Holz auch ganz unabhängig von der Transpiration hinaufdiffundirt. Ich stellte einen frischen Zweig von *Celtis australis*, der keine Spur von Lithion enthielt, mit dem abgeschnittenen Ende in eine sehr verdünnte Chlor-Lithionlösung und brachte das Ganze in einen mit Wasserdampf gesättigten Raum. Das Lithion stieg im Holzkörper dennoch auf. Da diesem Versuche der Vorwurf gemacht werden kann, dass im Beginne desselben noch Transspiration stattfand, so führte ich folgendes, wie ich glaube völlig beweisende Experiment durch. Ein 7 Mm. im Durchmesser haltendes, 10 Ctm. langes Stammstück von *Celtis australis* wurde seitlich und oben mit Siegellack sorgfältig ver-

[1] Transact. of the Botanical Soc. of Edinburgh, Vol. XI (s. bot. Zeit. 1874. pag. 248. — Transact. Roy. Irish Acad., Vol XXV (s. bot. Zeit. 1874, pag. 782).

schlossen, und mit der einzigen freien Fläche, nämlich mit dem unteren Querschnitte in eine sehr dilnirte Lösung von Chlorlithion eingetaucht. Das Stammstück hatte eine Länge von 10 Ctm. In drei Stunden stieg das Lithion 4·7 Ctm. im Holze auf. In einem Vergleichsstück des Stammes von *Celtis*, welches ich gleichfalls in eine Lithionlösung tauchte, dessen obere Schnittfläche aber unverschlossen blieb, erhob sich das Lithion in derselben Zeit 6·4 Ctm. hoch, woraus ersichtlich ist, dass die Geschwindigkeit des im Holze aufsteigenden Lithions auch von dem durch die Transspiration in Bewegung gesetzten Strome des Imbibitionswassers abhängig ist.

Dass das Wasser im Stamme rascher aufsteigt als das Lithion habe ich auch auf folgende Weise dargethan. Das frische Holz eines jungen Triebes von *Celtis australis* wurde an den Seiten sorgfältig mit Siegellack von niederem Schmelzpunkte verschlossen und in eine mit destillirtem Wasser halb gefüllte Eprouvette eingesenkt. Die freie Wasserfläche verhinderte ich durch eine Ölschichte vor Verdampfung; aus dem kleinen Apparate konnte sohin das Wasser nur durch die obere Schnittfläche des Holzstabes austreten. Derselbe wurde nur von Zeit zu Zeit gewogen, bis die in einer bestimmten Zeit verdampfte Wassermenge bei constanten äusseren Verhältnissen stationär geworden war. Die mittlere Geschwindigkeit der durch das Holz sich bewegenden Wassermoleciile ist offenbar der Länge des angewendeten Stabes und der in der Zeiteinheit verdampfenden (stationären) Wassermenge direct, dem Wassergehalte des Stabes hingegen umgekehrt proportional. Bedeutet λ die mittlere Geschwindigkeit der Wassermolecüle, w den Wassergehalt, l die Länge des Stabes und w_1 die in der Zeiteinheit entweichende constant gewordene Wassermenge, so ist

$$\lambda = \frac{w_1 l}{w}$$

l wurde gleich 17 Ctm. genommen, w betrug 0·633 Grm. w_1 in der Secunde 0·0033 Grm. (bei der psychrometrischen Differenz: 23·0—21·5° C.). Die mittlere Geschwindigkeit des Imbibitionswassers in dem Zweigstücke von *Celtis* betrug unter den angegebenen Verhältnissen 0·886 Mm. in der Sekunde. Unter den

gleichen Bedingungen betrug die Geschwindigkeit des Lithions hingegen blos 0·065 Mm. pr. Sekunde.

Obgleich nun das Lithion in einem Holze, welches Wasser verdampft, langsamer als das Wasser aufsteigt, so lässt sich die Aufsaugung des Lithions doch benützen, um die Frage zu entscheiden, ob das Wasser in verschiedenen Elementen eines und desselben Gewebes mit gleicher oder ungleicher Geschwindigkeit sich bewegt.

Durch Anwendung dieser Methode fand ich, dass das Lithion im Frühlingsholze der Nadelbäume rascher als im Herbstholze aufsteigt und folgere daraus die relativ raschere Bewegung des Wassers in ersterem, was auch die oben mitgetheilten Verdunstungsversuche lehrten. Je nach dem anatomischen Baue des Holzes erhält man für die Geschwindigkeit des Lithions im Holzkörper verschiedene Werthe, selbst bei einer und derselben Baumart. Bei den Nadelhölzern beispielsweise hängt die Geschwindigkeit des Lithions — also auch die Geschwindigkeit des Wassers — von der relativen Menge des Herbstholzes und von der Länge der Holzzellen [1] und zwar in dem Sinne ab, dass die Geschwindigkeiten desto grösser sind, je kleiner die Menge des Herbstholzes ist und je länger die Holzzellen sind. — Versuche mit der Aufsaugung von Lithionsalzen durch Eichenzweige lehren, dass in dem an Gefässen so reichen Frühlingsholz das Lithion mithin auch das Wasser rascher als im Herbstholze aufsteigt, was für die Geschwindigkeit der Wasserbewegung auch Verdunstungsversuche mit Frühlings- und Herbstholz derselben Baumart lehrten. — Im Holze von *Ochroma lagopus*, in welchem die Holzzellen fast gänzlich durch Holzparenchymzellen ersetzt sind, bewegt sich das Lithion weit rascher in den Gefässen als im Holzparenchym. Da es unmöglich ist, die Gefässe dieses Holzes für den Zweck der spectroscopischen Untersuchung ihrer Asche von dem Holzparenchym, von den spärlichen Holzzellen und von den Markstrahlen zu trennen, so lässt sich die Geschwindigkeit des Aufsteigens des Lithions in der

---

[1] Über die Verschiedenheit der Längen der Holzzellen im Stamme von *Pinus silvestris*. s. Sanio Anatomie der gemeinen Kiefer in: Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. VIII und IX.

Membran der Gefässe nicht mit Genauigkeit bestimmen. Die relativ grössere Geschwindigkeit des Lithions in den Membranen der Gefässe gegenüber jener im Holzparenchym geht indess zur Genüge aus folgendem Versuche hervor. Die durchschnittenen Elemente des Holzes, welche in die Chlor-Lithionlösung eingetaucht werden sollten, wurden früher mit Asphaltlack durch Injection verschlossen, damit ein capillares Aufsteigen der Lösung in den Gefässen von vornherein unmöglich gemacht würde. Nach der Aufsaugung des Lithionsalzes wurde das Stammstück in Querscheiben von 5 Mm. Höhe getheilt und diese der Länge nach in mikroskopisch dünne Plättchen geschnitten. Letztere wurden mikroskopisch untersucht und in zwei Partien getheilt; in solche, welche Gefässe führten und solche, welche frei von Gefässen waren. Jede Partie wurde für sich verascht. Die Veraschung wurde in der Reihenfolge von unten nach oben vorgenommen, so dass die mit der Chlor-Lithionlösung in Berührung gestandene Querscheibe zuerst zur Veraschung und zur spectralanalytischen Untersuchung gelangte. Bei dieser systematisch durchgeführten Prüfung verliert man die Spur des Lithions viel früher in den Aschen jener Längsschnitte, welche frei von Gefässen sind, als in denjenigen, welche Gefässe enthalten.

Nach den hier gemachten Auseinandersetzungen wird die oben (p. 15) mitgetheilte Thatsache, dass Holzarten existiren, welche das Wasser in radialer Richtung reichlicher als in tangentialer leiten und andere, welche sich umgekehrt verhalten, verständlich. Die Markstrahlen leiten das Imbibitionswasser am raschesten in radialer Richtung; die Herbstholzzellen stellen der Leitung des in den Membranen imbibirten Wassers nach der angegebenen Richtung ein grosses Hinderniss entgegen. Je reichlicher die Markstrahlen entwickelt sind, je geringer die Menge des Herbstholzes, je schwächer die Verdickung der Herbstholzzellen ist, desto reichlicher muss die transversale Leitung des Imbibitionswassers in der Richtung des Radius ausfallen. In den entgegengesetzten Fällen wird die Leitung nach der Richtung der Tangente begünstigt. An Holzarten, welche ein in tangentialer Richtung stark entwickeltes Holzparenchym haben, verstärkt dasselbe offenbar die

tangentiale Strömung des Imbibitionswassers. Im Holze der Coniferen werden die Bedingungen für eine relativ starke Wasserströmung in tangentialer Richtung, durch die radial gestellten Tüpfel vermehrt.

8. Zusammenfassung der wichtigeren Resultate und Folgerungen.

Die mitgetheilten Untersuchungen lehren, dass alle Elemente des lebenden Holzkörpers das imbibirte Wasser leiten und dass der letztere dem Imbibitionswasser die Bewegung nach jeder Richtung hin gestattet. Der relativ stärkste und rascheste Wasserstrom geht aufwärts zu den Blättern, der radiale, viel schwächere und langsamere nach der Rinde. Experimentell lässt sich ein in der Richtung der Tangente oder Secante gehender Wasserstrom nachweisen, welcher in der Pflanze immer dann in Thätigkeit kommt, wenn das Gleichgewicht in der Sättigung der Gewebe gestört wurde.

Schiefe Strömungen des imbibirten Wassers setzen sich aus Bewegungen der Wassermoleciile zusammen, welche in den Richtungen der drei anatomischen Hauptschnitte gehen.

Jede Zelle leitet das Imbibitionswasser in der Richtung der Längsaxe am raschesten. In Bezug auf die Geschwindigkeit der Leitung für imbibirtes Wasser verhalten sich die histologischen Elemente verschieden. Dünnwandige Holzzellen leiten das Imbibitionswasser rascher als dickwandige. Bei gleicher Wandverdickung erfolgt die Bewegung des Imbibitionswassers in einem Systeme von Zellen desto rascher, je länger diese Elemente sind. Alle diese Erscheinungen lassen sich ungezwungen durch die Annahme erklären, dass jede Zellmembran in der Richtung der Verdickungsschichten das Wasser rascher als in darauf senkrechter Richtung zu leiten befähigt ist.

Die parallel zur Längsaxe der Zellen in der Membran sich vorwärtsbewegenden Wassermoleciile müssen, um aus einer Zelle in die andere zu gelangen, die Verdickungsschichten quer durchsetzen, wobei ihre Bewegung verlangsamt wird. Die mittlere Geschwindigkeit des im Holze sich bewegenden Wasserstromes wird hiernach umsomehr verringert werden müssen, je dickwandiger und kürzer die Elemente sind.

Im natürlichen Baue des Frühlingsholzes ist es gelegen, dass es das Imbibitionswasser rascher leitet als die später angelegten Holzschichten des Jahresringes. Das aus dickwandigen Elementen zusammengesetzte Herbstholz leitet das Imbibitionswasser am langsamsten. Die mittlere Leitungsfähigkeit des Holzkörpers für Imbibitionswasser ist desshalb im Laufe einer Vegetationsepoche eine ungleiche: im Frühlinge und Sommer eine grössere als im Herbste. Die Leitung des Wassers vom Holze zur Rinde im Frühlinge und Sommer wird durch die Entwicklung dickwandigen gefässarmen, beziehungsweise gefässlosen Holzes im Herbste herabgesetzt.

Die mit der Aufsaugung von Lithionsalzen angestellten Versuche lehren, dass diese Verbindungen in der Membran der verschiedenen Elemente des Holzkörpers mit ungleicher Geschwindigkeit, ähnlich dem imbibirten Wasser aufsteigen, und lassen annehmen, dass alle in der vegetabilischen Zellwand mit dem Wasserstrome aufsteigenden chemischen Individuen demselben Gesetze folgen wie das Wasser, nämlich in einem Systeme langer und dünnwandiger Elemente rascher als in einem Systeme kurzer und dickwandiger, in allen aber axial mit grösserer Geschwindigkeit als transversal fortschreiten.

Die Erscheinungen der Wärmeleitung in den Geweben der Pflanzen bieten ein ähnliches Bild dar wie die Bewegung des Imbibitionswassers im Holze und in der Pflanzenzelle. Wie das Imbibitionswasser axial rascher aufsteigt als transversal, so pflanzt sich die geleitete Wärme axial in den Geweben und Zellen der Pflanzen rascher fort als transversal. Es ist wohl nicht daran zu zweifeln, dass die eigenthümliche Orientirung des Wärmeleitungvermögens der Pflanzenzelle auf denselben Verhältnissen der Molecularstructur der Zellmembran beruht, welche die ungleiche Leitungsfähigkeit des Imbibitionswassers bedingen.
